

越野汽车双联非圆行星齿轮差速器的研究

贾巨民 高 波

军事交通学院,天津,300161

摘要:提出了一种新型非圆行星齿轮差速器,将其应用于越野汽车分动器中,可以实现两输出轴扭矩按比例分配,相当于增大了差速器的锁紧系数,即增加了差速器的防滑功能,从而有望提高车辆的越野通过性。差速器结构紧凑,两个非圆中心齿轮形状完全相同,双联非圆行星齿轮形状一致,相位相差 90° ,采用三组双联行星齿轮实现均载,工艺性好。通过传动原理分析,给出了非圆齿轮节曲线的设计方法,并以渐开线齿形为例进行了设计计算及样机试制,差速器理论锁紧系数达到 3.45。

关键词:非圆齿轮;行星传动;差速器;越野汽车

中图分类号:TH132

DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2012.03.021

A Novel Noncircular Planetary Differential for Off-road Vehicles

Jia Jumin Gao Bo

University of Military Transportation, Tianjin, 300161

Abstract: With three noncircular gear items integrated, a new noncircular planetary differential was put forward, which may deliver variable proportional torque onto its two output axes and help to improve passing capacity for off-road vehicles. The new differential has two uniform centre gears, meshing with three double planetary gears, the double planetary gears have the same features with an angular difference of 90° . The driving theory and the design method of pitch curves were presented, a case study of gears with involute tooth profile was illustrated, which shows the effectiveness of the new differential.

Key words: noncircular gear; planetary; differential; off-road vehicle

0 引言

越野汽车经常在坏路或无路地区行驶,为提高其越野通过性,一般采用多轴驱动。若前后轴

之间未装轴间差速器而呈刚性连接,则当汽车行驶时,前后车轮将以同样的角速度旋转。但在实际使用中,由于轮胎气压、载荷不尽一致,特别是在不平路面上行驶时,前后车轮在单位时间内所通过的行程不相等,从而引起车轮的滑转或滑移,

收稿日期:2010-12-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50875260)

参考文献:

- [1] Malan J, Kamper M J. Performance of a Hybrid Electric Vehicle Using Reluctance Synchronous Machine Technology[J]. IRRR Transactions on Industry Applications, 2001,37(5):1319-1324.
- [2] 周斯加,罗玉涛,黄向东.双转子电机混合动力汽车驱动特性研究[J].中国机械工程,2008,19(16):2011-2015.
- [3] 罗玉涛,黄向东,周斯加,等.一种油-电混合动力汽车的多桥驱动系统:中国,20061003386.5[P].2006-02-27.
- [4] Kawamura A, Yokoyama T, Kume T. Anti-directional-twin-rotary Motor Drive for Electric Vehicles[C]//Conference Record of the 1994 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, New York, 1994:453-459.
- [5] 周斯加,罗玉涛,黄向东,等.4WD 电动车的滑转率识别及防滑控制[J].华南理工大学学报(自然科学

版),2008,36(6):95-100.

- [6] 罗玉涛,张桂连,旷鹏,等.四轮驱动汽车操纵稳定性级联控制策略的研究[J].汽车工程,2009(31):807-811.
- [7] 罗玉涛,谭迪,刘延伟,等.基于轴间驱动力分配的汽车操纵稳定性控制[J].华南理工大学学报(自然科学版),2009,37(7):74-78.
- [8] 邓志君.基于对转双转子电机的电动汽车研究[D].广州:华南理工大学,2007.

(编辑 王艳丽)

作者简介:周斯加,男,1981年生。温州大学机电工程学院讲师、博士。研究方向为新型车辆传动技术、电动汽车等。获中国专利7项。发表论文20余篇。龙江启,男,1974年生。温州大学机电工程学院讲师、博士。储 平,男,1980年生。温州大学机电工程学院讲师。张荫光,男,1982年生。深圳国家高技术产业创新中心工程师。

造成功率循环^[1-2]。

在驱动轴之间安装差速器可避免上述现象，但普通的齿轮差速器会显著降低车轮的通过性，其原因在于分动器输出扭矩按差速器传动比定比地分配给各输出轴，当其中一轴车轮打滑时，该轴车轮附着力减小，驱动力随之减小，其他轴的驱动力也随之按比例减小，导致车辆通过性降低。

为此，国外开发了变扭矩分配式分动器^[1-2]，该分动器分为被动控制式和主动控制式两种，前者有黏性式和高摩擦式，当前后输出轴存在转速差时会依靠内部黏性或摩擦阻力调整扭矩分配；后者一般为电子控制式，能根据传感器测得的路面、转速等信息经综合处理后控制扭矩分配，以适应车辆的越野通过性要求。

目前国内越野车上采用的全时驱动分动器几乎均为定扭矩分配比式，其中的差速器采用普通的圆柱行星齿轮传动，基本不具备防滑功能。

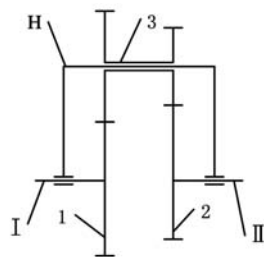
为解决上述问题，文献[3]提出了一种新型差速器概念模型，指出：如将组成差速器的三个齿轮改成非圆齿轮，即将差速器变成非圆行星齿轮差速器，则有可能不用改变分动器总体结构，依靠传动的变速比效应自动调整输出轴的转矩分配，从而改善车辆的越野通过性。

上述模型中，非圆行星齿轮同时与中心轮和齿圈啮合，结构简单、紧凑，对原分动器改动小，但也存在两点不足：一是存在平差效应，即无法保证行星齿轮与中心轮传动比最大位置刚好是行星齿轮与齿圈传动比最小位置，反之，也无法保证行星齿轮与中心轮传动比最小位置刚好是行星齿轮与齿圈传动比最大位置；二是很难在中心轮圆周均布多个行星轮用于提高承载能力并实现均载。

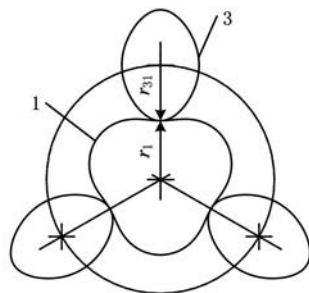
为此，本文提出一种新型双联非圆行星齿轮差速器。该差速器应用于越野汽车分动器中，可以实现两输出轴扭矩变比例分配，从而实现差速器的防滑功能，改善车辆的越野通过性。

1 结构原理

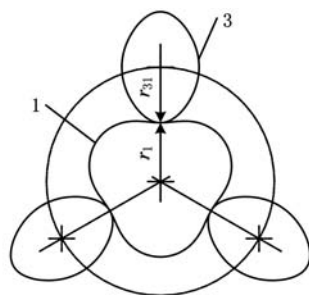
图 1 为新型双联非圆行星齿轮差速器传动示意图，它主要由非圆中心轮 1、非圆中心轮 2、双联非圆行星齿轮 3、行星架 H 等组成。运动及动力由行星架 H 输入，非圆中心轮 1、2 分别与前后输出轴 I、II 固定，当齿轮间存在相对运动时，前后两根输出轴 I、II 的传动比不是定值，而是按照设定的规律周期变化。两个中心齿轮结构完全相同，双联行星齿轮形状一致，相位相差 90°，共有三组，绕中心齿轮均布。



(a) 双联齿轮机构原理图



(b) 输出轴 I 端齿轮 1、3 节曲线



(c) 输出轴 II 端齿轮 2、3 节曲线

H—行星架(输入轴) I、II—输出轴

1. 非圆中心轮 2. 非圆中心轮 3. 双联非圆行星轮

图 1 双联非圆行星齿轮差速器传动示意图

分析传动原理，可得该差速器转化机构传动比(输出轴 II 相对于输出轴 I)：

$$i_{21}^H = \frac{r_{31}r_2}{r_1r_{32}} = f(\varphi_3) \quad (1)$$

式中， r_1 为非圆齿轮 1 的节曲线半径； r_2 为非圆齿轮 2 的节曲线半径； r_{31} 为与齿轮 1 啮合的双联行星齿轮 3 的节曲线半径； r_{32} 为与齿轮 2 啮合的双联行星齿轮 3 的节曲线半径； $f(\varphi_3)$ 为行星齿轮转角 φ_3 (绕自身轴线) 的周期函数。

差速器输入扭矩将按上述传动比规律成比例地分配给前后两个输出轴，从而实现变扭矩分配。

需要特别说明的是，非圆行星齿轮差速器在功能方面具有自适应性，即装配好后，不再需要人工干预，而是根据不同车轴上车轮打滑状况自动调节输出扭矩分配，其输出扭矩之比的最大值称为锁紧系数^[2]。

2 非圆齿轮传动设计

行星齿轮与中心齿轮的传动比规律设计直接关系到差速器的使用性能，也是整个研究工作的

出发点与归宿,本文经研究给出如下传动比公式:

$$i_{31} = \frac{z_1}{z_3}(1 - c \sin 3\varphi_1) \quad (2)$$

式中, i_{31} 为行星齿轮 3 与中心齿轮 1 的传动比; z_1 、 z_3 分别为中心齿轮和行星齿轮的齿数; φ_1 为中心齿轮转角; c 为设计常数。

显然,行星齿轮 3 与中心齿轮 2 的传动比可表示为

$$i_{32} = i_{31}(\varphi_3 + \frac{\pi}{2}) \quad (3)$$

则齿轮 1 与齿轮 3 的节曲线方程可表示为^[4]

$$\left. \begin{aligned} r_1 + r_{31} &= a \\ i_{31} &= \frac{r_1}{r_{31}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

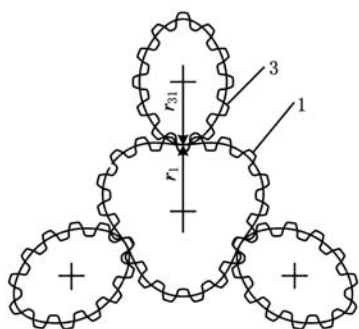
同理,齿轮 2 与齿轮 3 的节曲线方程为

$$\left. \begin{aligned} r_2 + r_{32} &= a \\ i_{32} &= \frac{r_2}{r_{32}} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

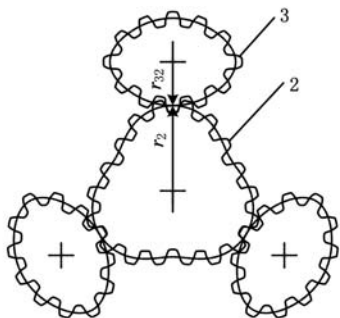
式中, a 为齿轮 1、2 与齿轮 3 的啮合中心距。

3 示例

取 $c=0.3$, $z_1 = z_2 = 18$, $z_3 = 12$, 以渐开线齿形为例进行了设计计算, 计算结果如图 2 所示。图 3 所示为研制出的原理样机, 其中 $a = 100\text{mm}$ 。图 4 所示为 i_{21}^H 变化曲线。



(a) 输出轴 I 端齿轮 1、3 齿形



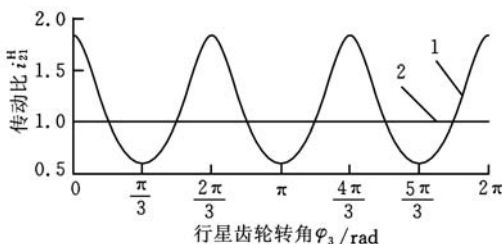
(b) 输出轴 II 端齿轮 2、3 齿形

图 2 齿形计算结果

从图 4 可以得出, $\frac{\max i_{21}^H}{\min i_{21}^H} \approx 3.45$, 该值相当于差速器的锁紧系数。对于一般越野车辆, 该锁紧系数已经足够大, 完全可以满足越野通过性要求。



图 3 新型差速器原理样机



1. 非圆行星齿轮差速器 2. 圆柱行星齿轮差速器

图 4 前后输出轴传动比

4 结论

(1) 提出了一种新型非圆行星齿轮差速器, 并进行了传动原理分析, 该差速器可以依靠传动的变速比效应自动调整输出扭矩的分配, 实现防滑功能, 改善车辆的越野通过性。

(2) 差速器结构紧凑, 两个非圆中心齿轮形状完全相同; 双联非圆行星齿轮形状一致, 相位相差 90° , 采用三组双联行星齿轮实现均载, 加工、装配工艺性好。

(3) 对于装有差速锁的车辆, 本文提出的差速器仍然适用, 在不太恶劣的路面上, 依靠差速器本身的防滑功能基本够用, 在特别恶劣的路面上再使用差速锁, 可以做到优势互补。

参考文献:

[1] 汽车工程手册编辑委员会. 汽车工程手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
 [2] 刘惟信. 汽车车桥设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
 [3] 贾巨民, 高波. 越野汽车分动器非圆行星差速器概念模型[J]. 中国机械工程, 2008, 19(24): 3003-3005.
 [4] 李福生, 尹种芳, 张遵连, 等. 非圆齿轮与特种齿轮传动设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1983.

(编辑 王艳丽)

作者简介: 贾巨民, 男, 1965 年生。军事交通学院基础部教授。研究方向为机械传动与越野车辆通过性。发表论文 30 篇。
 高波, 男, 1971 年生。军事交通学院装运机械系讲师。